

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-180399

(43)Date of publication of application : 28.06.1994

(51)Int.Cl.

G21K 1/06

(21)Application number : 04-334735

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 15.12.1992

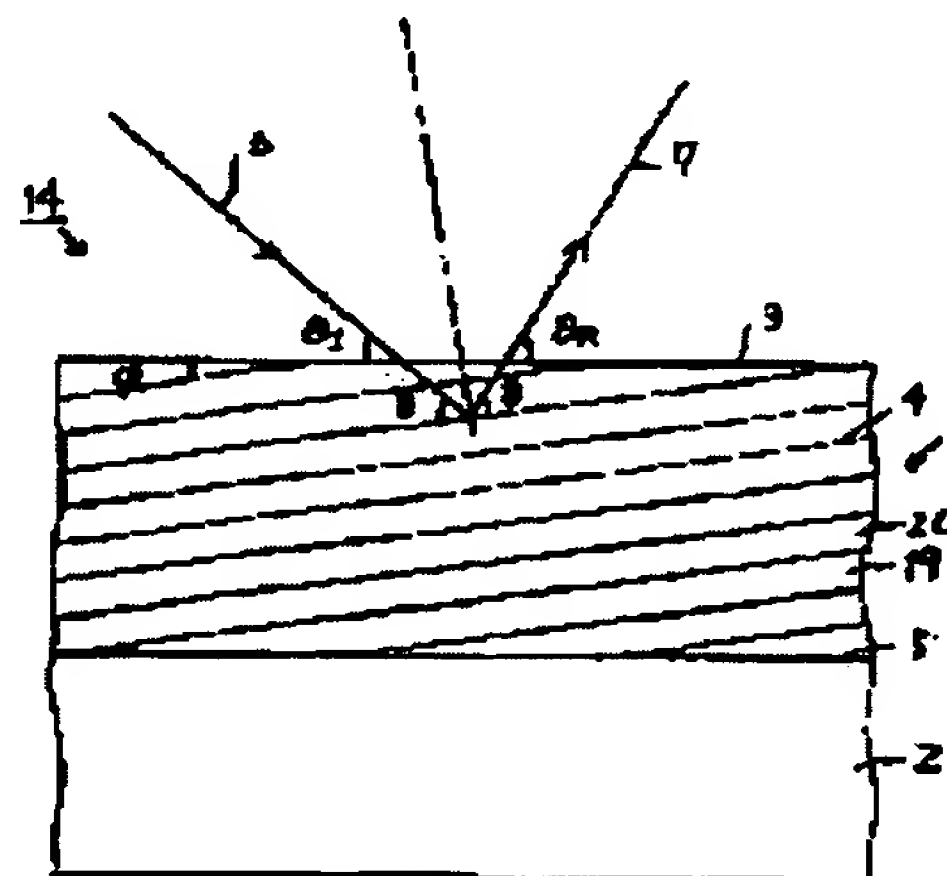
(72)Inventor : OSHINO TETSUYA  
MURAKAMI KATSUHIKO

## (54) MULTILAYER FILM MIRROR FOR X-RAY, REFLECTIVE X-RAY MASK AND FABRICATION THEREOF

### (57)Abstract:

PURPOSE: To increase freedom in relative positional relationship between a reflective mask and an optical focusing system.

CONSTITUTION: A substance for which difference of refractive index of light having wavelength in X-ray region and refractive index in the vacuum is low and a substance having high difference of refractive index are laminated alternately on a substrate 2 to form a multilayer film mirror for X-ray. In such a multilayer film mirror, surface 3 of the multilayer film 1 is formed while inclining by a predetermined angle  $\phi$  against the interfaces of respective layers constituting the multilayer film 1.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-180399

(43)公開日 平成6年(1994)6月28日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 2 1 K 1/06

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

D 8607-2G

B 8607-2G

審査請求 未請求 請求項の数8(全9頁)

(21)出願番号

特願平4-334735

(22)出願日

平成4年(1992)12月15日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 押野 哲也

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72)発明者 村上 勝彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

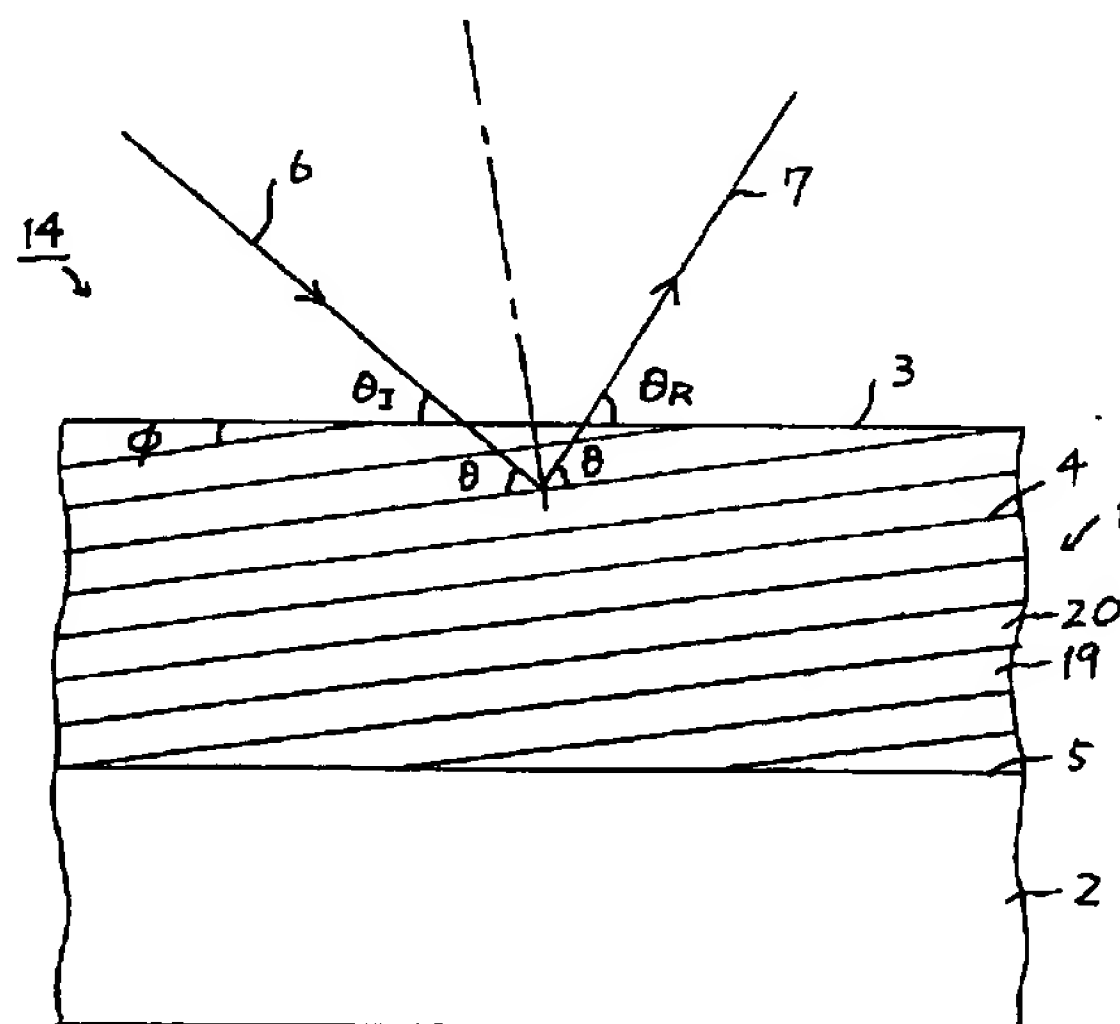
(74)代理人 弁理士 永井 冬紀

(54)【発明の名称】 X線用多層膜ミラー、反射型X線マスクおよびX線用多層膜ミラーの製造方法

(57)【要約】

【目的】 反射型マスクと結像光学系との相対的配置関係の自由度を増加させる。

【構成】 基板2上に形成され、X線領域の波長を有する光の屈折率と真空中の屈折率との差が小さい物質と大きい物質とを交互に積層してなる多層膜1を備えたX線用多層膜ミラーにおいて、多層膜1を構成する各層の界面4に対して多層膜1の表面3を所定角度 $\phi$ だけ傾斜して形成した。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成され、X線領域の波長を有する光の屈折率と真空中の屈折率との差が小さい物質からなる第一層と前記差が大きい物質からなる第二層とを交互に積層してなる多層膜を備えたX線用多層膜ミラーにおいて、

前記多層膜を構成する各層の界面に対して前記多層膜の表面を所定角度だけ傾斜して形成したことを特徴とするX線用多層膜ミラー。

【請求項2】 請求項1に記載のX線用多層膜ミラーにおいて、

前記多層膜の表面で反射されるX線がこの多層膜表面の法線方向に沿って反射されるように前記多層膜の周期およびこれを構成する各層の界面と前記多層膜の表面とがなす前記所定角度が設定されていることを特徴とするX線用多層膜ミラー。

【請求項3】 請求項1に記載のX線用多層膜ミラーの前記多層膜の一部にX線を反射しないX線非反射部が形成され、前記X線非反射部が所定のパターンに形成されてなる反射型X線マスク。

【請求項4】 X線領域の波長を有する光の屈折率と真空中の屈折率との差が小さい物質からなる第一層と前記差が大きい物質からなる第二層とを基板上に交互に積層して多層膜を形成する工程を備えたX線用多層膜ミラーの製造方法において、

平坦面およびこの平坦面に対して所定角度をもって傾斜する傾斜面を有する基板を用意し、前記傾斜面から前記平坦面に向かって前記第一層および第二層を交互に形成して前記多層膜を形成することを特徴とするX線用多層膜ミラーの製造方法。

【請求項5】 X線領域の波長を有する光の屈折率と真空中の屈折率との差が小さい物質からなる第一層と前記差が大きい物質からなる第二層とを基板上に交互に積層して多層膜を形成する工程を備えたX線用多層膜ミラーの製造方法において、

前記基板上に設けられた平坦面に沿って前記第一層および第二層を交互に形成して前記多層膜を形成した後、この多層膜を構成する前記各層の界面と前記多層膜の表面とが所定角度をもって傾斜するように前記多層膜の一部を除去することを特徴とするX線用多層膜ミラーの製造方法。

【請求項6】 請求項5に記載のX線用多層膜ミラーの製造方法において、

前記多層膜を構成する前記各層の界面に対して所定角度をなす研磨面に沿って前記多層膜を研磨することを特徴とするX線用多層膜ミラーの製造方法。

【請求項7】 請求項5に記載のX線用多層膜ミラーの製造方法において、

断面V字型の溝が一定周期で一次元に配列され、各溝を構成する一対の面のうち一方の面が互いに平行に配置さ

れた基板を用意し、この基板の前記一方の面に沿って前記第一層および第二層を交互に形成して前記多層膜を形成することを特徴とするX線用多層膜ミラーの製造方法。

【請求項8】 請求項5に記載のX線用多層膜ミラーの製造方法において、

前記多層膜を基板とともに前記多層膜の厚さ方向に切断した後、切断した前記多層膜をその積層方向に互いにずらして接合し、接合した多層膜の一部を除去することを特徴とするX線用多層膜ミラーの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、X線投影露光やX線顕微鏡等のX線の波長領域での反射光学系に用いられるX線用多層膜ミラー、このX線用多層膜ミラーを用いたX線投影露光における反射型マスクおよびX線用多層膜ミラーの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】この種のX線用多層膜ミラーは、屈折率の大きく異なる二種類の物質を基板上に数Å～数十Åの厚さで交互に積層させたものである。X線用多層膜ミラーは、多数の界面で反射した光の干渉効果を利用したものであり、多層膜の1周期の長さ（周期長）をd、X線の入射角をθ、X線の波長をλとすると、ブラッグの条件（ $2d \sin \theta = n \lambda$ ）を満たすとき高い反射率を示す。

【0003】図11は従来のX線用多層膜ミラーを示す概略断面図である。この図において、X線多層膜ミラーは基板2の表面5上に形成された多層膜1を備え、この多層膜1は、屈折率（すなわち真空中の屈折率に対するX線領域の波長を有する光の屈折率の比）の大きく異なる二種類の物質からなる層19、20が交互に形成されてなる。従来のX線用多層膜ミラーは、多層膜1の界面4（つまり層19、20の界面）がミラーの表面3に平行であるため、ミラーの表面3の法線Nに対して対称的な方向にのみX線を反射する。すなわち、入射X線6と反射X線7は法線Nを挟んで対称な位置にある。従って、多層膜ミラーは、可視光に対して一般に用いられる鏡と同様に、表面の形状が平面の場合は光の進む向きを変えたり、曲面の場合は光の広がりを変えたりすることに利用される。さらに、曲面の多層膜ミラーを組み合わせることにより、X線用の顕微鏡や投影露光の結像光学系にも応用される。

【0004】図11に示すX線用多層膜ミラーは、X線投影露光におけるマスクとして使用することもできる。従来、X線投影露光ではX線が透過し易い物質からなる厚さ2μm程度の自立膜（メンブレン）の上に、X線を透過しにくい物質からなる薄膜部材で所望のパターンを形成した透過型のマスクが用いられてきた。しかし、このマスクはメンブレンの強度が非常に弱いため、大面積

のマスクの作製が困難であること、および、X線を照射したときに発生する熱による変形が生じ易い等の問題点があった。

【0005】そこで、このような問題点を解決するために図12(a)、(b)、(c)に示すような反射型のマスクが提案されている。図12(a)は多層膜1の一部をエッチングなどにより除去してパターンを形成したもの、同図(b)は多層膜1の表面の一部にX線を吸収する薄膜8を積層してパターンを形成したもの、同図(c)は多層膜1の一部の周期構造をイオン注入などにより破壊し、周期構造が破壊された多層膜26によりパターンを形成したものである。図12(a)、(b)、(c)に示すマスクは、いずれも薄いメンブレンの代わりに厚い基板2を用いることができるため、上記の問題点は生じない。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】透過型マスクおよび反射型マスクを用いたX線投影露光の光学系の概略図を図4に示す。図4において、9は透過型マスク、10は結像光学系、11は結像面、12はX線、13は図12で例示したような反射型マスクである。透過型マスク9ではX線12の透過光を利用するため、図4(a)に示すようにパターンの配列する平面（すなわちマスク9の表面）がX線12の光軸に対して垂直になるように配置することができる。一方、従来の反射型マスク13では、マスク13の表面（パターンの配列する平面）をX線12の光軸に対して垂直にすると入射光と反射光が重なってしまう（図11参照）ため、図4(b)に示すようにマスク13の表面の法線方向が光軸に対し傾いた状態でマスク13を配置しなければならない。

【0007】したがって、透過型マスク9の場合、マスク9の表面の各点と結像光学系10との距離は一定であるが、反射型マスク13の場合はX線12の光軸に対して傾いている分だけ一定ではなくなる。従って、反射型マスク13を用いた場合、結像光学系10がマスク13あるいは照明されているマスク13の部分の全面に対し焦点が合うような大きな焦点深度を有していなければならない。反射型マスク13を用いた場合に結像光学系10に要求される焦点深度Dは、マスク13を一辺lの正方形とすると

【数1】

$$D = l \sin(90 - \theta) \quad \dots\dots(1)$$

$\theta$  : X線12とマスク13の表面とがなす斜入射角となる。(1)式から理解できるように、マスク13が大きくなるほど焦点深度Dを大きくする必要がある。また、 $\theta$ が90°に近いほど焦点深度Dは小さくなるが、実際は照明系の配置による制限から、 $\theta$ を約87°より大きくすることは経験上困難である。例えば、倍率1/5、解像度0.1 $\mu$ mの光学系で、一辺10mmの正方形の反射型マスク13に形成されたパターンを $\theta = 87^\circ$ の配置でX線縮小露光するとき、結像光学系10の焦点深度Dは、

(1)式よりマスク側で500 $\mu$ m以上、結像光学系10の倍率が1/5であるからウェハ側で20 $\mu$ m (=500 $\times$ (1/5)<sup>2</sup>)以上必要になる。一方、このような結像光学系10において実現可能な焦点深度Dは像側で1 $\mu$ m以下である。従って、上記のような高分解能と大きな焦点深度を兼ね備えた光学系を作製することは非常に困難である。

【0008】X線縮小投影露光の露光の方法としては、上記のような大面積を一括露光する方法の他に、マスクの一部を輪帯状に照明してウェハを露光しながらマスクとウェハをスキャンすることにより、大面積の露光を行う方法がある（たとえばSolid State Technology 日本版, p.19-25, 1991 September参照）。この方法は、マスクの一部を輪帯状に照明する結像光学系の作製が容易であるという利点を持つ。マスクを輪帯状に照明する場合は、輪帯の幅が上記の(1)式のlに相当する。しかし、例えば、倍率1/5、解像度0.1 $\mu$ mの光学系を用いて、輪帯の幅が0.5mm、 $\theta = 87^\circ$ の配置でX線縮小露光するとき、光学系の焦点深度はウェハ側で1 $\mu$ m (=500 $\times$ (1/5)<sup>2</sup>)以上必要になる。従って、焦点深度1 $\mu$ m程度の光学系で露光装置を作製する場合には特定の一点でのみ焦点が合わなければならない、ほとんど実現困難な高精度のアライメント精度が要求される。輪帯の幅をさらに小さくすれば焦点深度Dを小さくして光学系への負担を軽くすることができるが、輪帯の幅が小さくなることにより照明光学系の作製が困難になり、また、スループットの点から輪帯全体のX線強度を低下させることは困難であるため、輪帯の幅が小さくなればその分マスクの単位面積当たりの照射X線強度が増大し、これによりマスクの耐久性の問題も生じる。

【0009】以上のように、従来の反射型マスクによるX線投影露光では、透過型マスクに比べて高いアライメント精度を必要とし、また結像光学系にも大きな焦点深度を要求するという問題点があった。

【0010】本発明の目的は、反射型マスクと結像光学系との相対的配置関係の自由度を増加させることの可能なX線用多層膜ミラー、反射型マスクおよびX線用多層膜ミラーの製造方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、基板上にX線領域の波長を有する光の屈折率と真空中の屈折率との差が小さい物質からなる第一層と前記差が大きい物質からなる第二層とを交互に積層してなる多層膜を備えたX線用多層膜ミラーに適用され、そして、上述の目的は、前記多層膜を構成する各層の界面に対して前記多層膜の表面を所定角度だけ傾斜して形成することにより達成される。また、前記多層膜の表面で反射されるX線がこの多層膜表面の法線方向に沿って反射されるように前記多層膜の周期およびこれを構成する各層の界面と前記多層膜の表面とがなす前記所定角度を設定した。さらに、X線

用多層膜ミラーの前記多層膜の一部にX線を反射しないX線非反射部を形成し、前記X線非反射部を所定のパターンに形成形成して反射型マスクとした。

【0012】また、上記多層膜ミラーは従来の多層膜ミラーの製造方法では製造できないため、以下に述べるような方法が必要になる。上記方法の一つとして、多層膜ミラーの薄膜形成時に基板上にスリットを配置し、それを基板表面に平行に移動させる方法を考案した。

【0013】まず、図6(b)に示すような断面形状の基板2を用意する。この基板2の表面の一部は、他の表面(平坦面)17に対して所定の角度 $\phi$ で傾斜する傾斜面16に形成されている。この角度 $\phi$ は、製造すべきX線用多層膜ミラー14の表面3と多層膜1の界面4とがなす角度 $\phi$ (図1参照)に等しくされている。次に、この基板2の上に図6(a)に示すようなスリット板15を配置する。スリット板15には平面視長方形のスリット15aが形成されており、このスリット15aの幅aは、多層膜1全体の厚さをtとすれば、次式

【数2】

$$a = t / \tan \phi \quad \cdots \cdots (2)$$

により定められる。逆に、aの大きさを定めることにより多層膜1の膜厚tを調整できる。基板2の傾斜面16の幅bはaより大きければよい。

【0014】次に、多層膜1をスパッタ法等により以下の手順で積層する。まず、図7(a)に示すように、スリット15aが基板2の傾斜面16の上に位置するようにスリット板15を配置する。そして、スリット板15を水平移動させつつそのスリット15aからスパッタ粒子18を基板2の表面16に積層して多層膜1の第一層19を成膜し、図7(b)に示すように第一層19が所望の膜厚 $d_1$ になったとき第一層19の成膜作業を停止して、同時にスリット板15の水平移動を停止させる。この間、スリット板15は等速で水平移動され、その速度は、距離

【数3】

$$P = d_1 / \sin \phi \quad \cdots \cdots (3)$$

を、第一層19を一層成膜する時間で割った速度とされる。同様に、スリット板15を水平移動させつつ第二層20を成膜し、図7(c)に示すように第二層20が所望の膜厚 $d_2$ になったとき第二層20の成膜作業を停止して、同時にスリット板15の水平移動を停止する。以上で、多層膜1の一周期が積層できる。以下、上述と同様の操作を繰り返し、基板2の全面に多層膜1を積層することによって、図1に示すようなX線用多層膜ミラー14が得られる。また、成膜後にミラー14の表面3を研磨すると、表面粗さが小さくなりミラー14の反射率を向上することができる。

【0015】上述の方法で作製した多層膜1は、従来の多層膜1と同様、ミラー面内の膜厚が一定である。従って、膜厚の大きさに関わらず面内の反射率は一定であ

る。また、任意の膜厚が選択できるため、内部応力が大きいことにより膜厚を大きくすると剥離しやすいような多層膜も、その膜厚を小さくすることによって作製することが可能である。図1に示すX線用多層膜ミラー14を反射型マスク13として使う場合は、図12に示した従来のマスク13と同様の手法によりパターン形成が可能である。

【0016】また、別の製造方法として、従来と同様に製造された多層膜ミラーから多層膜の一部を成膜後に除去する方法がある。本方法には以下のような方法が含まれる。一つは、成膜された多層膜ミラーを多層膜表面に対し傾けて配置して多層膜の表面側を研磨する方法である。本方法は、図8(a)に示すように、表面16が基板2の底面2aに対して角度 $\phi$ だけ傾いた傾斜平面に形成された断面形状の基板2上に、まずスパッタ法等で図8(b)に示すように多層膜1を積層し、その表面を図8(c)に示すように斜めに研磨して多層膜1の一部21を斜めに除去するものである。

【0017】基板2の表面(傾斜面)16のなす角度 $\phi$ は、ミラー14の表面3と多層膜1の界面4とがなす角度に等しいが、これは、研磨により多層膜1の一部21を除去する作業において研磨面を基板2の底面2aに平行に行えるようにするためである。従って、基板2の表面16を傾斜させることなく、平行平面基板に成膜してそれを角度 $\phi$ だけ傾けて研磨してもよい。また、本方法は角度 $\phi$ が大きくなると多層膜を多数層積層しなければならないものの、多層膜ミラーを非常に簡単に製造できるという特徴を有する。従って、本方法は角度 $\phi$ の小さいミラーや、面積の小さいミラーの製造に適している。

【0018】別の製造方法は、図9(a)に示すような断面形状を有する基板2上に多層膜1を形成する方法である。つまり、基板2の表面に、基板2の底面2aに平行な面が残らないようにV字型の溝Gを一定周期で一次元に配列し、各溝Gを構成する二つの表面22、23のうち一方の表面22が互いに平行に形成された基板2を用意し、この基板2上に、図9(b)に示すように多層膜1をスパッタ法等により積層する。積層した後、多層膜1の表面に研磨等を施して表面の一部を除去すると、図9(c)に示すような多層膜ミラー14が得られる。本方法は、同一の多層膜1の膜厚tを得る場合、上記の方法(請求項6に記載の方法)に比べ積層数が少なくてもよいという特徴を有する。従って、角度 $\phi$ の大きなミラーおよび面積の大きなミラーを容易に製造することができる。また、スパッタ等で積層粒子18の入射方向を表面23に平行にすると、粒子が基板面23に付着せず高反射率のミラーが得やすい。また、層数が少ない場合は、多層膜ミラー14の反射率が基板2の各頂点24の位置で小さくなるが、層数を十分多くすれば反射率が飽和してミラー14の反射率は面内で一定になる。さらにこの



ときはミラー14の反射率が最大となるため、層数は反射率が飽和する程度にするのが好ましい。

【0019】また別の製造方法は、図11に示すような従来の多層膜ミラーを図10(a)に示すように厚さ方向に沿った切断面25で切断して微小幅を有する複数のミラー14aとし、再びそれらを図10(b)に示すように多層膜1の積層方向にずらして接合し、表面を研磨して図10(c)に示すような多層膜ミラー14を製造する方法である。ずらす量qは次式

$$【数4】 q = r \tan \phi \quad \cdots \cdots (4)$$

r：切断したミラーの幅、 $\phi$ ：多層膜1の界面4がなす角

で与えられ、多層膜1の膜厚tはqより大きいことが好ましい。これらの方法は、平面基板に限らず曲面基板にも応用できる。

【0020】

【作用】本発明では、図1に示すようにミラー表面、すなわち多層膜表面3が多層膜1を構成する各層19、20の反射面（界面）4に対して角度 $\phi$ だけ傾いて形成されている。従って、入射X線および反射X線のミラー表面に対する角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ は、多層膜1の反射面4に対するX線6、7の角度 $\theta$ と異なり、

$$\theta_1 = \theta - \phi$$

$$\theta_2 = \theta + \phi$$

となる。これにより、本発明による多層膜ミラー14は、X線6をミラー表面3に対し非対称に反射することができる。図2および図3に示すような本発明による多層膜ミラー14にパターンを形成した反射型マスク13を用いた、X線投影露光装置の概略図を図4(c)に示す。多層膜1の周期および多層膜1の傾き $\phi$ を適宜設定することにより、反射X線の角度 $\theta_2$ を90°にすることができる。これにより、マスク13の表面が結像光学系10の光軸に対して垂直になるようにマスク13を配置することができる。

【0021】なお、本発明の構成を説明する上記課題を解決するための手段と作用の項では、本発明を分かり易くするために実施例の図を用いたが、これにより本発明が実施例に限定されるものではない。

【0022】

【実施例】

—第1実施例—

図2は本発明の第1実施例を示す概略断面図である。本図は基板2上に多層膜1を所望のパターン状に形成した反射型マスクを示している。多層膜の界面4は反射マスクの表面（つまり多層膜表面3）あるいは基板の表面5に対し3°傾いている。以下にこの反射型マスクの製造方法を説明する。

【0023】まず、図6(b)に示すような形状の基板2を用意する。この基板2は表面のサイズが20×20cmであるが、その表面の一部（傾斜面）16が他の表面17

に対し3°傾いている。次に、この基板2の上に、図6(a)に示すような長方形のスリット15aが形成されたスリット板15を配置した。このスリット15aの幅aは傾斜面16の幅b以下であればよいが、本実施例ではa、bとも6.2 $\mu$ mとした。次に、スリット板15を水平移動させつつ、モリブデン層19と珪素層20とからなる多層膜（Mo/Si）1をスパッタ法により積層した。モリブデンおよび珪素の膜厚 $d_1$ 、 $d_2$ は、それぞれ25、42Åとした。以上で、図1に示すようなX線用多層膜ミラー14が得られる。次に、この多層膜1の一部をエッチングにより除去した。まず、ミラー14の表面にレジストを塗布し、これに紫外線を用いた縮小投影露光装置で最小線幅0.5 $\mu$ mのパターンを焼き付けた。さらにイオンミリング装置により多層膜をエッチングした後、レジストを除去した。以上の結果、図2に示すような反射型マスク13が得られた。なお、基板2の傾いた表面部分16はミラー14および反射型マスク13として用いない。

【0024】このマスクに、波長130Å、ビームサイズ0.5×0.5mmの軟X線6を照射し、解像度0.1 $\mu$ m、倍率1/5、焦点深度1 $\mu$ mの光学系10で、レジストを塗布したシリコンウエハ上に縮小露光した。このとき、マスク13の反射光7がマスク表面（ミラー表面3）に対して垂直になるようにマスク13を配置した（図2参照）。その結果、0.1×0.1mmの領域に0.1 $\mu$ mのパターンが形成された。さらに、ウエハを光軸に対し垂直に±0.5 $\mu$ m動かしても同様の結果が得られた。

【0025】本実施例では、マスクのパターンとして図12(a)に相当するものを作製したが、本発明によるマスクはこのようなパターン形状に限らず、例えば、図12(b)、(c)に相当するもの、あるいはこれらに類似した形態のマスクにも適応できる。また、本発明によるマスクは本実施例のような平面マスクに限らず、曲面形状のマスクにも適応できる。

【0026】—第2実施例—

図3は本発明の第2実施例を示す概略断面図である。本図は、図示するような断面形状の基板2上に多層膜1が積層されており、その表面3にX線吸収体8が所望のパターンに形成されてなる反射型マスク13を示している。多層膜1の界面4は反射型マスク13の表面3に対し3°傾いている。以下にこの反射型マスクの製造方法を説明する。

【0027】まず、図9(a)に示すような断面形状を有する基板2を用意する。本基板2のqおよびrの値はそれぞれ0.52 $\mu$ m、10 $\mu$ mとした。また、溝Gを形成する表面22、23のなす角度は90°とした。次に、モリブデン層19と珪素層20とからなる多層膜1をスパッタ法により周期64Åで150ペア積層した。本実施例で使用したスパッタ装置は、スパッタ粒子18がターゲットの垂直方向に最も多く飛び出すため、本実施例では、こ

の垂直方向と基板の表面23とが平行になるように、つまり表面22がターゲットの垂直方向に直交するように配置して成膜した。次に、多層膜1の表面3が平面となるように研磨してX線用多層膜ミラー14を製造した。次にこのミラー14の表面3に吸収体8のパターンを形成した。まず、ミラー14の表面3に吸収体8として金を100nm蒸着した。そして、ミラー14の表面3にレジストを塗布し、これに紫外線を用いた縮小投影露光装置で最小線幅0.5 $\mu$ mのパターンを焼き付けた。さらにイオンミリング装置により金蒸着膜をエッチングした後、レジストを除去した。以上の結果、図3に示すようなマスクが得られた。

【0028】このマスクについて、実施例1と同様の露光実験を行ったところ、実施例1と同じ結果が得られた。また、本発明によるマスクは本実施例のような平面マスクに限らず、曲面形状のマスクにも適応できる。なお、本実施例では、隣合う溝Gの表面22a、22b、22c上に形成された多層膜1の界面4どうしが一致しない場合がある。この場合、各表面22a、22b、22c上の多層膜1の境界部(図9に点線Bで示す)付近では多層膜1の反射条件が十分に満たされないこともありうる。しかし、反射条件が満たされない領域は、多層膜1の周期や多層膜界面4がなす角度 $\phi$ を適宜設定することにより十分小さくすることが可能であり、マスク13として使用した場合にその像に影響を与えるおそれはない。

#### 【0029】—第3実施例—

図8(c)は本発明の第3実施例を示す概略断面図である。多層膜1は基板2上に積層されており、このとき多層膜1の界面4はミラー14の表面3に対し5°傾いている。以下に、この多層膜ミラー14の製造方法を説明する。

【0030】まず、図8(a)に示すように、表面16が底面2aに対し5°傾いて形成され、表面16の面積が5×5mmの基板2上に、モリブデン層19と珪素層20とからなる多層膜(Mo/Si)1をスパッタ法により周期96Åで45800ペア積層した。次に、多層膜1の表面3が基板2の底面2aと平行になるように、この多層膜1の一部21を研磨によって除去した。

【0031】この多層膜ミラー14に、コリメートされた波長130Å、ビームサイズ3×3mmの軟X線6を入射角 $\theta_1=40^\circ$ で照射したところ、図5に示すように反射角 $\theta_2=50^\circ$ の方向にX線7が反射した。さらに、反射X線7のビームサイズは3.6×3mmに増加した。これより、本多層膜ミラー14はビームエキスパンダーとして働くことが確認された。

#### 【0032】—第4実施例—

図10(c)は本発明の第4実施例を示す概略断面図である。本図は図10(c)に示すような断面形状の基板2上に多層膜1が積層しているX線用多層膜ミラー14を示

している。多層膜1の界面4はミラー14の表面3に対し5°傾いている。以下にこの多層膜ミラーの製造方法を説明する。

【0033】まず、図11に示すような断面を有する多層膜ミラーを用意する。多層膜1は周期96Å、1000ペアのモリブデン層19と珪素層20とからなる多層膜であり、スパッタ法で作製した。この多層膜ミラーを、ダイヤモンドカッターで図10(a)に示すように切断面25に沿って切断して複数の切断ミラー14aを作製した。このとき、各ミラー14aの幅rは100 $\mu$ mとした。次に、図10(b)に示すように、隣合うミラー14aの表面が多層膜1の積層方向に8.75 $\mu$ mずれるようにこれらミラー14aを接合した。さらに、表面3および裏面2aが平面となるようにミラー14を研磨して図10(c)に示すようなX線用多層膜ミラー14を得た。このミラー14で実施例3と同様の実験を行ったところ、実施例3と同様にビームエキスパンダーとして働くことがわかった。

【0034】なお、本発明のX線用多層膜ミラー等は、その細部が上述の各実施例に限定されず、種々の変形例が可能である。一例として、多層膜は本実施例で挙げたモリブデンと珪素の組み合わせに限らない。また、角度 $\phi$ も本実施例の値に限らない。

#### 【0035】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、X線用多層膜ミラーによりX線をミラー表面に対し非対称に反射することができる。そのため、本発明によるX線用多層膜ミラーを用いてX線投影露光用の反射型マスクを製作すると、反射光のミラー表面に対する角度を90°にすることができる。そのため、マスクに起因するアライメント精度、照明光学系および結像光学系等への制限を小さくすることができる。また、多層膜の周期および多層膜を構成する各層の界面に対する多層膜表面の角度を適宜選択することにより、特定の入射角をもって入射するX線を任意の出射角で反射することが可能となり、照明光学系、結像光学系および反射型マスクの配置の自由度を増すことができる。また、本発明によるX線用多層膜ミラーは、反射光のビームサイズを入射光に比べ小さくしたり大きくしたりすることが可能である。従って、ビーム断面積が非常に小さいという欠点があるシンクロトロン放射光から放射される光でも、本ミラーにより、その断面積を大きくすることができる。従って、例えばX線投影露光においては、照明光学系に本ミラーを用いるとマスクの広い領域が照明できる等の効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による多層膜ミラーを示す概略断面図である。

【図2】本発明の第1実施例である反射型X線マスクを示す概略断面図である。

【図3】本発明の第2実施例である反射型X線マスクを

示す概略断面図である。

【図4】(a)は透過型マスクを、(b)は従来の反射型マスクを、(c)は本発明による反射型マスクを用いた縮小露光装置の概念図である。

【図5】本発明による多層膜ミラーにおける、入射および反射ビームの断面積の変化を示す図である。

【図6】(a)は第1実施例の反射型X線マスクの製造に用いられるスリットを示す概略斜視図、(b)は基板を示す概略斜視図である。

【図7】第1実施例の反射型X線マスクの製造工程を示す概略図である。

【図8】第3実施例の多層膜ミラーの製造工程を示す概略図である。

【図9】第2実施例の反射型X線マスクの製造工程を示す概略断面図である。

【図10】第4実施例の多層膜ミラーの製造工程を示す概略図である。

【図11】従来の多層膜ミラーを示す概略断面図である。

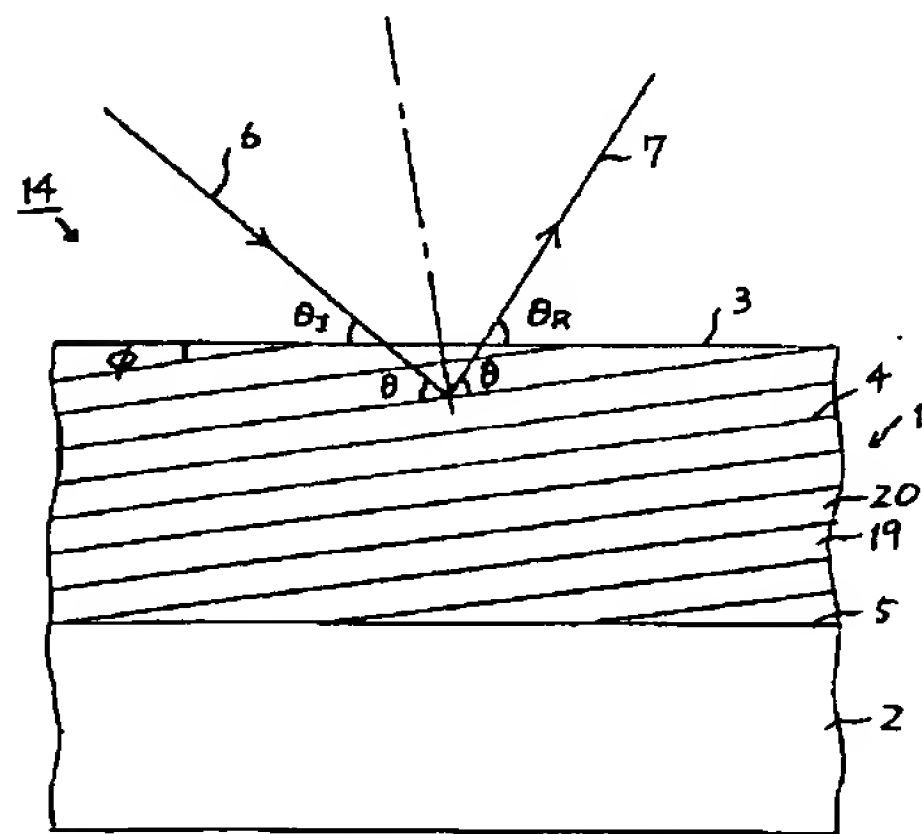
【図12】従来の反射型X線マスクを示す概略断面図である。

【符号の説明】

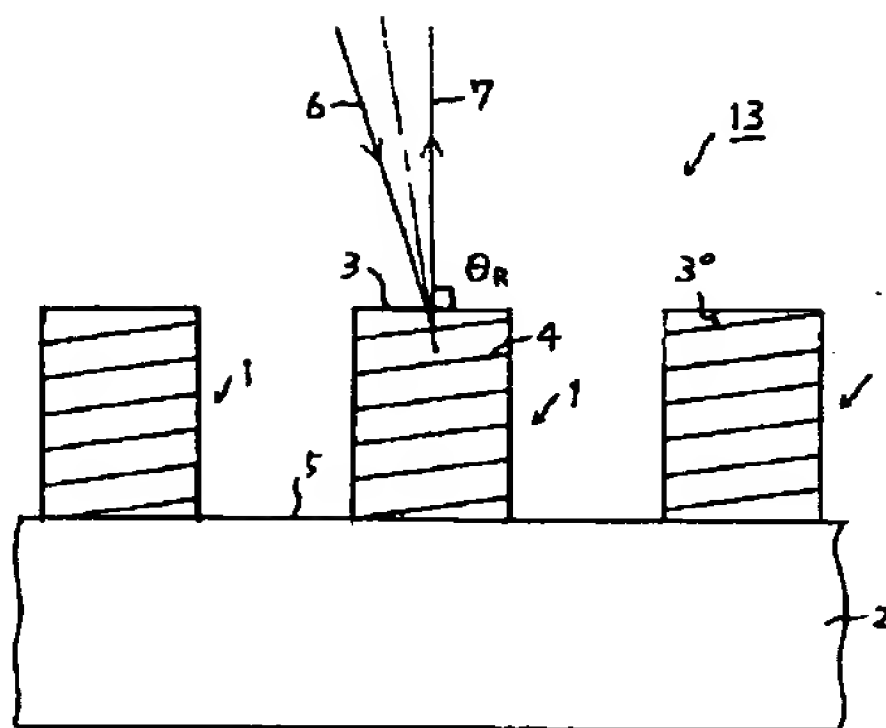
G 溝

- 1 多層膜
- 2 基板
- 3 ミラー表面
- 4 多層膜の界面(反射面)
- 5 基板表面
- 6 入射X線
- 7 反射X線
- 8 吸収体
- 10 結像光学系
- 12 X線
- 13 反射型マスク
- 14 多層膜ミラー
- 15 スリット板
- 15a スリット
- 16 傾斜面
- 17 平坦面
- 18 スパッタ粒子
- 19 モリブデン層
- 20 珪素層
- 21 多層膜の一部
- 22、23 表面
- 25 切断面

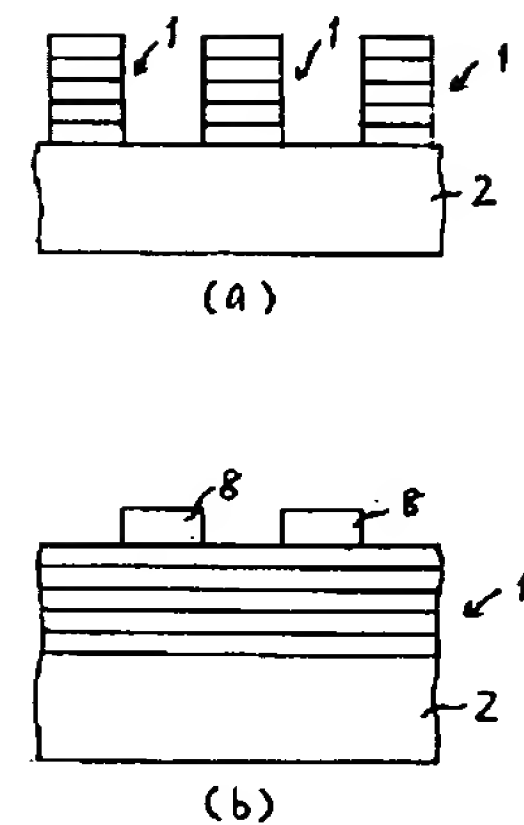
【図1】



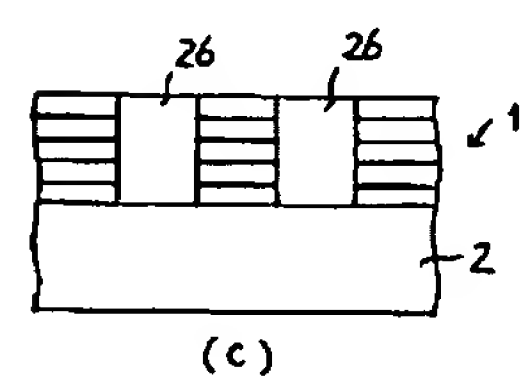
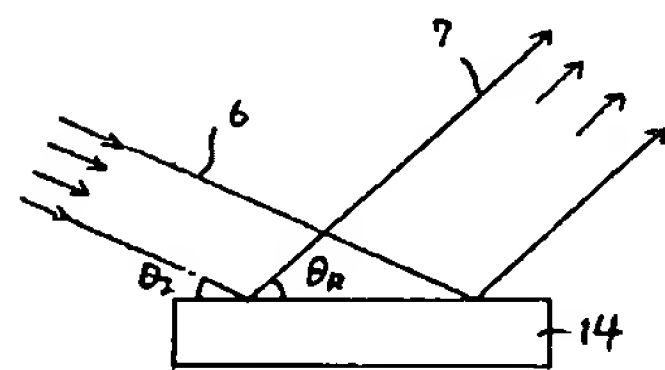
【図2】



【図12】

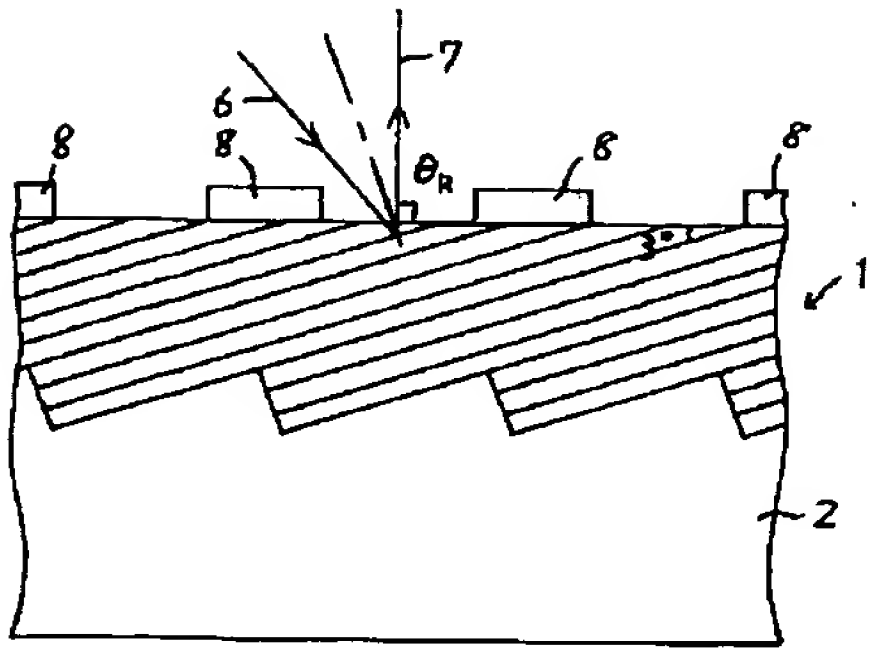


【図5】

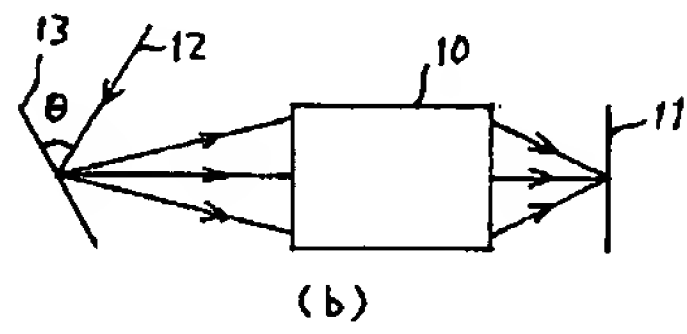
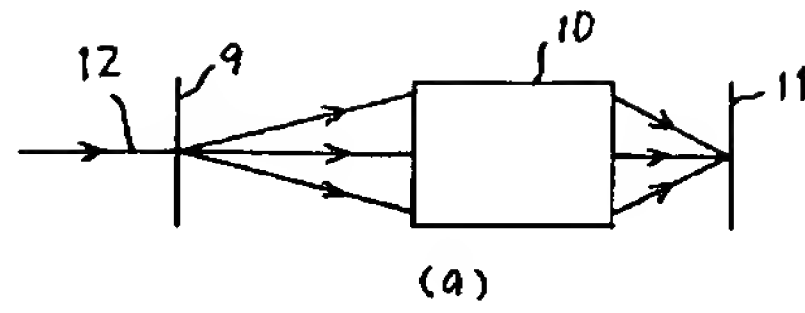




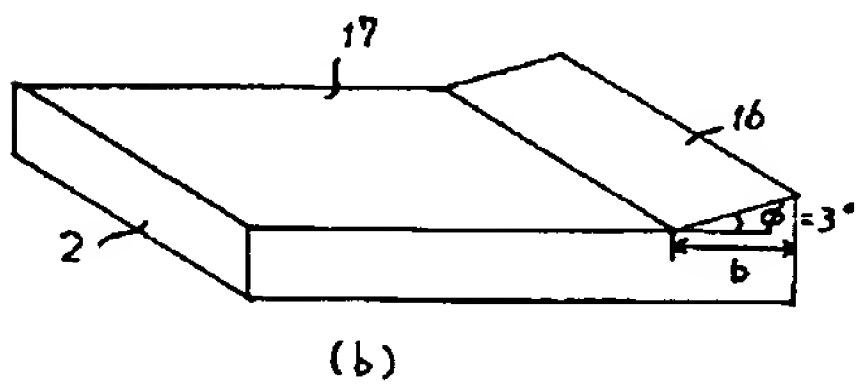
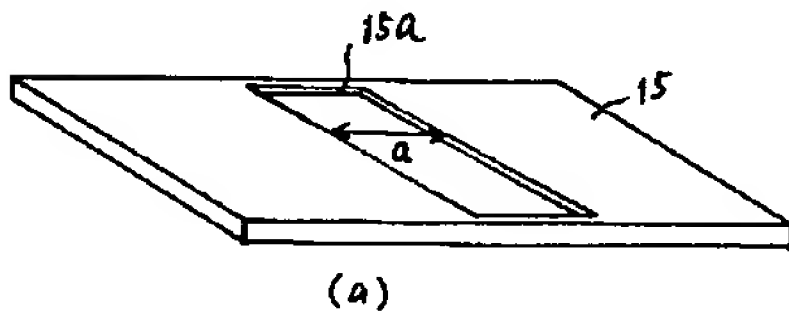
【図3】



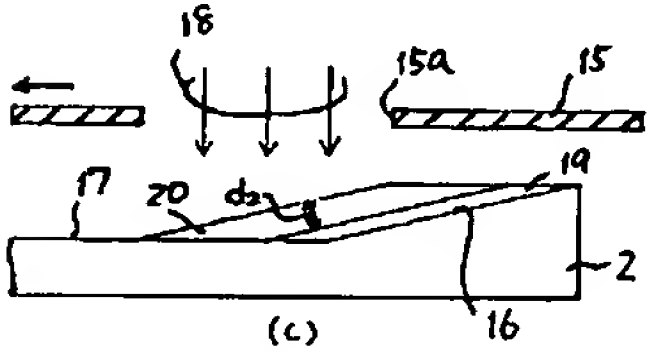
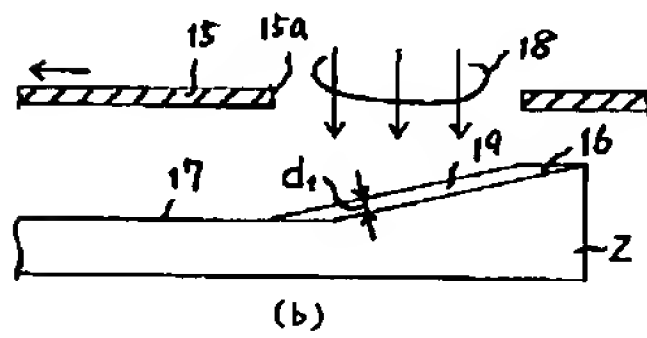
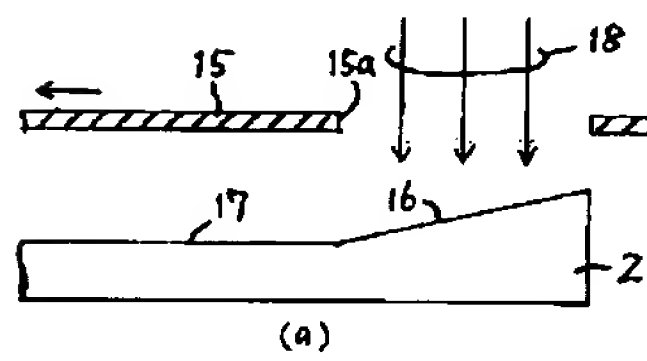
【図4】



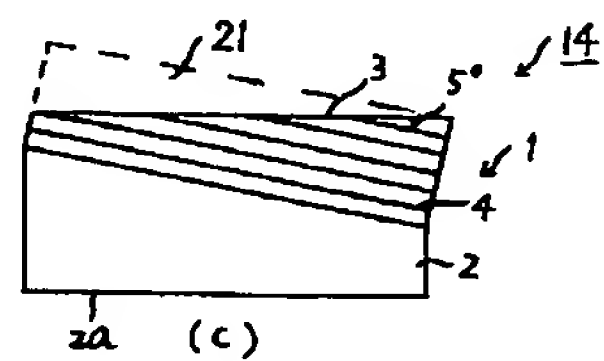
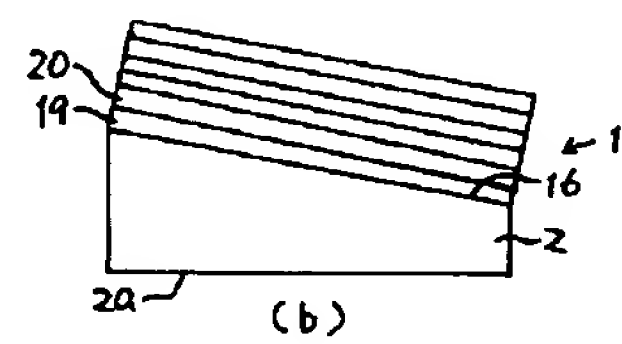
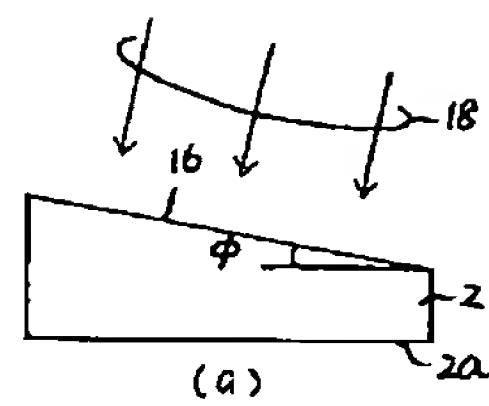
【図6】



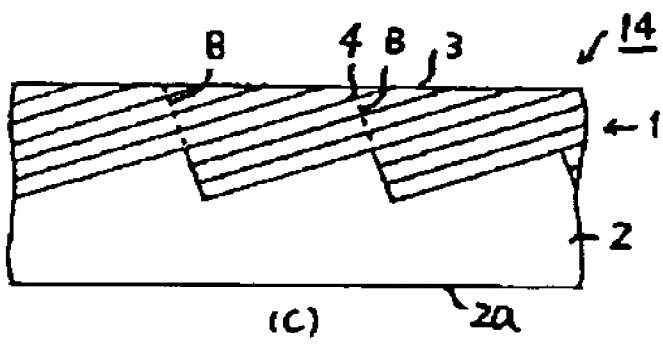
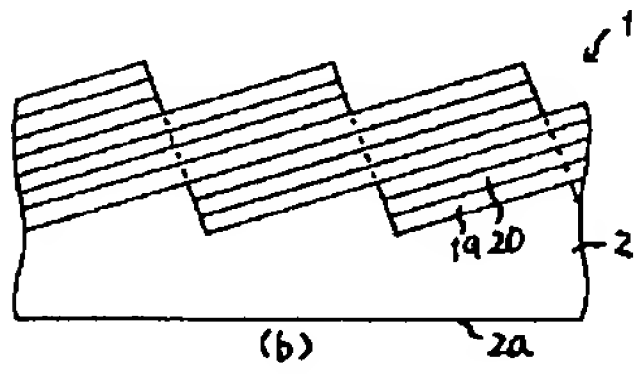
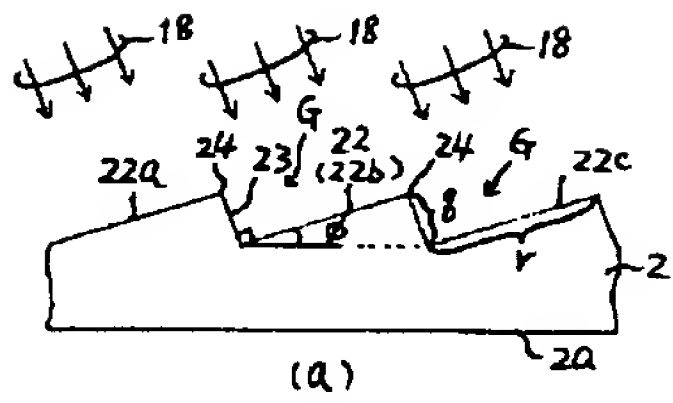
【図7】



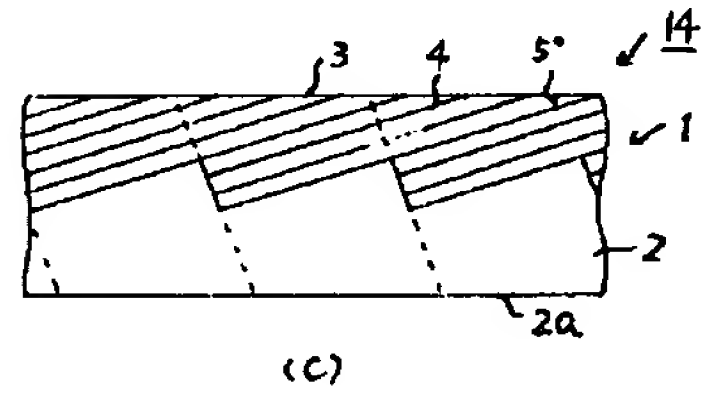
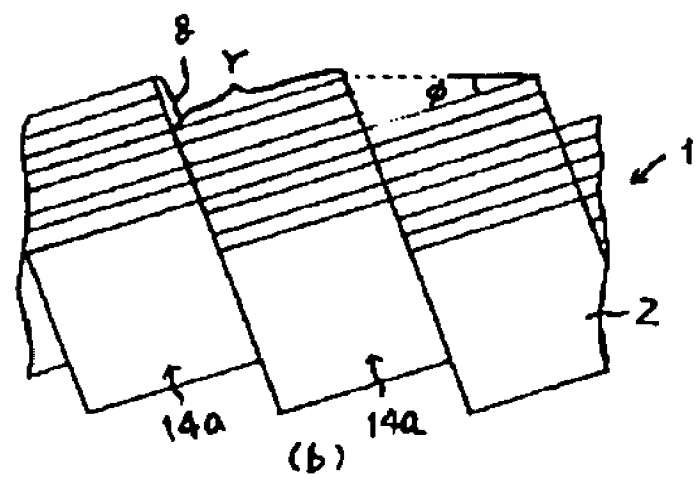
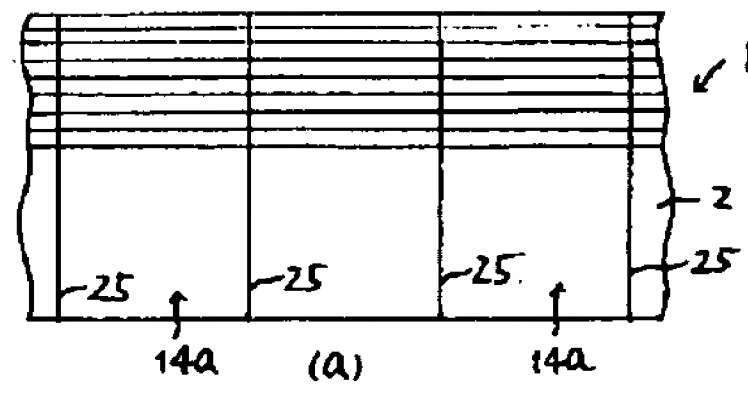
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

